



Miroirs de Bragg et microcavités en silicium poreux : effet de l'oxydation

Joël Charrier, Yann G. Boucher, Michel Gadonna

► To cite this version:

Joël Charrier, Yann G. Boucher, Michel Gadonna. Miroirs de Bragg et microcavités en silicium poreux : effet de l'oxydation. 27èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2008), Oct 2008, Lannion, France. pp.52-54. hal-00358598

HAL Id: hal-00358598

<https://hal.science/hal-00358598>

Submitted on 3 Feb 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MIROIRS DE BRAGG ET MICROCAVITES EN SILICIUM POREUX : EFFET DE L'OXYDATION

Joël CHARRIER¹, Yann G. BOUCHER² et Michel GADONNA³

¹ Laboratoire FOTON, CNRS UMR 6082, BP 80518, 22305 Lannion cedex

² Laboratoire RESO (EA 3380), CS 73862, 29238 Brest cedex 3

³ CCLO, 6 rue de Kerampont, BP 80518, 22305 Lannion cedex

joel.charrier@univ-rennes1.fr

RESUME

Des structures verticales que sont des miroirs de Bragg et des microcavités ont été élaborées en silicium poreux et en silice poreuse. La silice poreuse est obtenue en oxydant le silicium poreux. Une étude préliminaire a permis d'étudier l'indice de réfraction des couches en silicium poreux avant et après oxydation, la vitesse de formation de ces couches et l'évolution de la variation de l'épaisseur après oxydation en fonction de la porosité initiale des couches. L'objectif de ce travail est d'anticiper l'évolution de la réponse spectrale de ces dispositifs due à l'oxydation.

MOTS-CLEFS : *miroirs de Bragg ; microcavités ; silicium poreux ; oxydation ; rugosité.*

1. INTRODUCTION

Les matériaux nano-structurés tels que le silicium poreux ou la silice poreuse, présentent des potentialités dans le domaine de l'optoélectronique, de l'optique intégrée et des capteurs. En effet, le procédé de fabrication du silicium poreux permet de moduler aisément son indice de réfraction et ceci de manière continue. Cela a permis la réalisation de dispositifs optiques tels que des guides d'onde, des microcavités, des miroirs de Bragg [1, 2]. Ces dispositifs auraient l'avantage d'être intégrés directement sur un substrat de silicium et ce avec un procédé de fabrication peu coûteux et compatible avec les technologies VLSI.

Par ailleurs, grâce à leur caractère poreux on peut rendre ces structures actives. D'une part, en introduisant dans les pores des composés ayant des propriétés spécifiques. Les matériaux composites ainsi obtenus présentent alors des propriétés qui résultent à la fois de celles de la matrice poreuse et du matériau introduit dans les pores. D'autre part, la fonctionnalisation de la surface des pores peut modifier les propriétés intrinsèques de ces dispositifs optiques. Ce changement de propriétés permettrait d'être sensible aux substances à détecter.

La fonctionnalisation de ce matériau ouvre un large champ d'applications notamment dans le domaine des bio-capteurs, concernant la santé, le contrôle des procédés de fabrication et de conservation alimentaire. Ces capteurs doivent être très sensibles, fiables et peu coûteux. Le silicium poreux peut jouer le rôle de transducteur et ou de matrice hôte. Ses avantages sont multiples : (i) sa facile modulation d'indice pour réaliser des dispositifs optiques, (ii) sa porosité pour fonctionnaliser les structures et (iii) sa considérable surface développée qui peut être mise à profit pour la détection (sensibilité importante).

Dans ce travail, nous présentons l'élaboration de miroirs de Bragg et de microcavités en silicium poreux et l'évolution de leur réponse spectrale après oxydation. Cette étude permet d'anticiper l'effet de l'oxydation sur les paramètres caractéristiques des miroirs de Bragg notamment sur la déviation de la longueur d'onde centrale après oxydation. L'évolution de l'indice de réfraction et celle de l'épaisseur après oxydation ainsi que l'effet de la rugosité des interfaces sur la réflectance sont décrits.

2. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Les miroirs de Bragg et les microvavités sont formés par attaque électrochimique d'un substrat de silicium monocristallin de type P⁺ ($\rho = 4\text{-}6\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$) d'orientation (100) en faisant varier périodiquement les paramètres de formation que sont la densité de courant (qui détermine l'indice de réfraction de la couche) et la durée d'anodisation (qui détermine l'épaisseur de la couche). Ainsi deux densités de courant consécutives J_1 et J_2 sont appliquées alternativement pour former les deux couches poreuses du motif par anodisation dans une solution de HF (50%), d'eau et d'éthanol (2:1:2). Pour former la structure verticale périodique, nous avons d'abord déterminé les paramètres tels que les indices de réfraction avant et après oxydation (Fig. 1 (a)), la vitesse de formation des couches en silicium poreux et l'évolution de l'épaisseur de ces couches après oxydation (Fig 1 (b)). En effet, après oxydation, une augmentation de l'épaisseur de la couche est toujours observée et dépend de la porosité. Elle est due à la transformation des cristallites de silicium en silice qui s'accompagne d'une expansion volumique entraînant également une diminution de la porosité initiale.

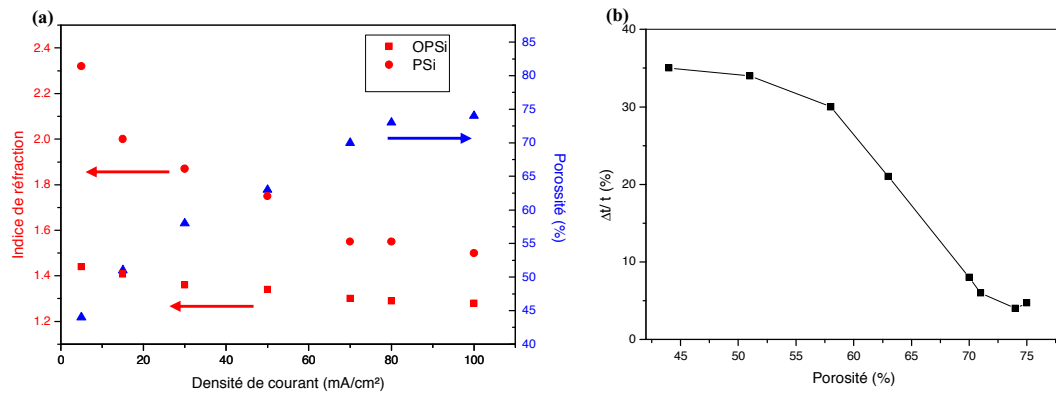


Fig. 1 : (a) Evolution de l'indice de réfraction du silicium poreux et de la silice poreuse (symboles circulaires et rectangulaires respectivement) et celle de la porosité en fonction de la densité de courant (symboles triangulaires) à 1550 nm (b) Evolution de la variation relative de l'épaisseur avant et après oxydation ($\Delta t/t$) en fonction de la porosité initiale de la couche de silicium poreux

L'oxydation induit une diminution de l'indice de réfraction et une augmentation de l'épaisseur des couches. Les propriétés des miroirs de Bragg et des microcavités dépendent du chemin optique de ces couches. Nous avons tenu compte de ces changements en calculant analytiquement, à partir d'un formalisme matriciel, les corrections à apporter aux indices et aux épaisseurs pour obtenir la structure optique souhaitée après oxydation. Nous avons choisi un miroir de Bragg en silice poreuse centré à 1550 nm.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les effets de l'oxydation ont été anticipés en ajustant les paramètres expérimentaux à partir d'une structure multicouche en silicium poreux qui tient compte de son évolution pendant l'oxydation (figures 1(a) et 1(b)) pour obtenir la réponse spectrale désirée. Ainsi, un miroir de Bragg en silicium poreux centré à 1705 nm avec une largeur de bande égale à 300 nm a été réalisé pour anticiper l'effet de l'oxydation (Fig. 2 (a)). Après oxydation, la réponse spectrale est bien centrée à 1550 nm. Nous constatons que les réponses spectrales théoriques et expérimentales sont en bon accord (Fig. 2 (b) et 2(c)).

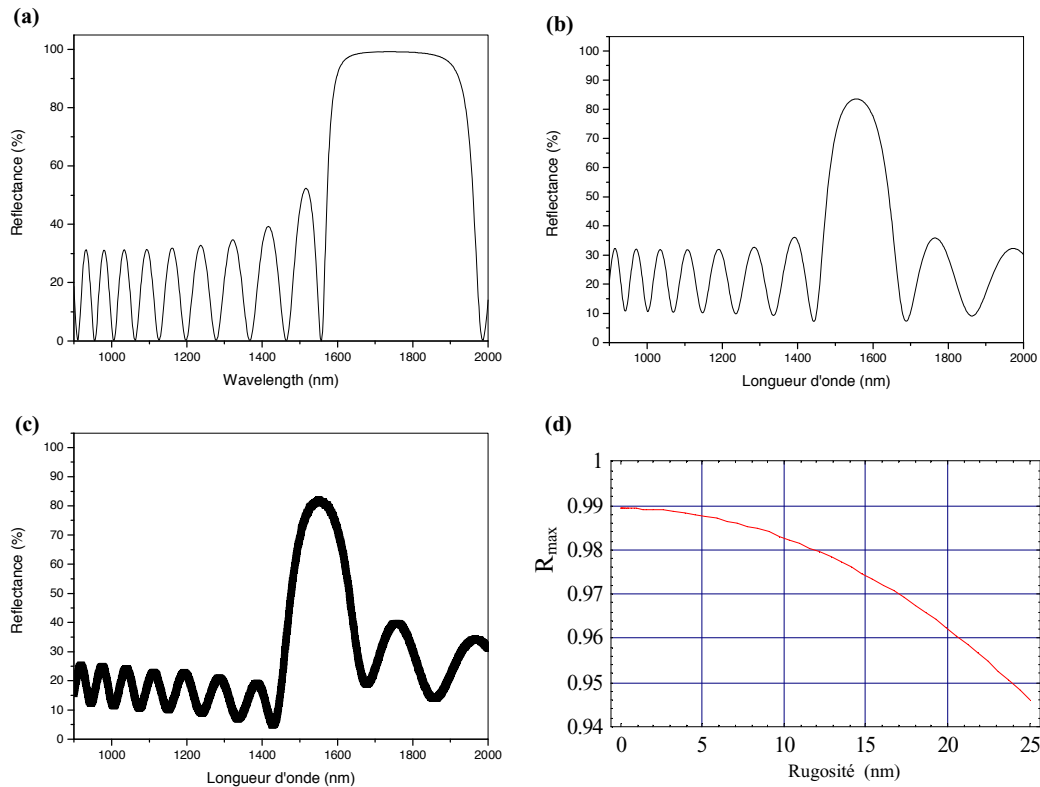


Fig. 2 : (a) Spectre de réflectance théorique d'un miroir de Bragg en silicium poreux centré à 1705 nm (b) Spectre de réflectance théorique d'un miroir de Bragg en silice poreuse centré à 1550 nm (c) Spectre de réflectance expérimental d'un miroir de Bragg en silice poreuse centré à 1550 nm (d) Calcul de la réflectance maximale d'un miroir de Bragg en silicium poreux en fonction de la rugosité des interfaces à 1750 nm

Après oxydation, nous observons une déviation prédite de la réponse spectrale vers les faibles longueurs d'onde et une diminution de la largeur de la bande de réflectance. Ceci est dû à la diminution de l'indice de réfraction de chaque couche après oxydation et d'autre part à l'importance de la diminution de l'indice par rapport à l'augmentation de l'épaisseur des couches après oxydation. La réflectance maximale après oxydation peut être augmentée en augmentant le nombre de motifs (ici $N=10$). Par ailleurs, une étude sur la rugosité (mesure d'AFM avant et après oxydation) a été menée pour prendre en compte l'effet de la rugosité des interfaces sur la réponse spectrale [3] (Fig. 2(d)). Dans notre cas, la rugosité est faible et de l'ordre de quelques nanomètres et influence faiblement la valeur de la réflectance maximale.

CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons démontré, par un exemple simple, la faisabilité de la réalisation des miroirs de Bragg en silice poreuse centrés à 1550 nm en anticipant l'effet de l'oxydation [4]. Sur le même principe, des microcavités ont été réalisées. L'ensemble de ces résultats sera présenté.

RÉFÉRENCES

- [1] L.T. Canham, « Properties of Porous Silicon », Eds INSPEC, 158-161 (1997)
- [2] L. Pavesi, G. Panzarini and L. C. Andreani, Phys. Rev. B 58, 15794 (1998)
- [3] G. Lerondel and R. Romestain, Appl. Phys. Lett. 74, 2740 (1999)
- [4] J. Charrier, P. Pirasteh, Y. Boucher and M. Gadonna, «Study of Bragg reflector based on oxidized porous silicon from P^+ silicon substrates», soumis à Journal of Applied Physics en Février 2008